# UNTERSUCHUNGEN ZUR BIAXIALEN UND TELEZENTRISCHEN ELEKTRONEN–PENDELBESTRAHLUNG DES ZERVIXCARCINOMS BEI EXZENTRISCHER LAGE DER PENDELACHSEN MIT DEM 42 MeV–SIEMENS–BETATRON!

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Norbert Schmidt

Saarbrücken

1972

AUS DEM STRAHLENINSTITUT DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

Direktor: Professor Dr. med. F. Sommer

# UNTERSUCHUNGEN ZUR BIAXIALEN UND TELEZENTRISCHEN ELEKTRONEN-PENDELBESTRAHLUNG DES ZERVIXCARCINOMS BEI EXZENTRISCHER LAGE DER PENDELACHSEN MIT DEM 42 MeV-SIEMENS-BETATRON!

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1972

vorgelegt von

Norbert Schmidt

geb. 1. 4. 1939 in Dudweiler/Saar

Dekan: Professor Dr. med. H. Kulenkampff

Referent: Professor Dr. med. F. Sommer

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Prüfung wurde am 5. 7. 72 abgelegt.

# UNTERSUCHUNGEN ZUR BIAXIALEN UND TELEZENTRISCHEN ELEKTRONEN-PENDELBESTRAHLUNG DES ZERVIXCARCINOMS BEI EXZENTRISCHER LAGE DER PENDELACHSEN MIT DEM 42 MeV-SIEMENS-BETATRON.

INHALTSANGABE


| | Seite |
|---|---|
| Einleitung | 1 |
| Literaturüberblick | 3 |
| Eigene Messungen | 11 |
| Beschreibung der Versuchs-anordnungen | 13 |
| Beschreibung der Kurvenverläufe | 24 |
| Diskussion der Meßergebnisse | 29 |
| Zusammenfassung | 32 |
| Literaturverzeichnis | 33 |
| Danksagung | 39 |
| Lebenslauf | 40 |

Nach ZOLLINGER (39) entfallen 16 % aller bösartigen Geschwülste bei Frauen auf das Zervixcarcinom, während der Anteil des Korpuscarcinoms 6 % beträgt. Das Zervixcarcinom tritt 1o bis 15 Jahre früher auf als das Korpuscarcinom und kann schon bei Frauen unter 2o Jahren angetroffen werden. Das Korpuscarcinom hingegen kommt meist bei Frauen über 5o Jahren vor. Der hohe prozentuale Anteil des Cervixcarcinoms an allen bösartigen Tumoren bei Frauen und das frühe Auftreten rechtfertigen weitere und ergänzende Untersuchungen zu seiner Behandlung, vor allem im strahlentherapeutischen Bereich.

Voraussetzung für die Behandlung des Zervixcarcinoms ist die Kenntnis des Stadiums der Erkrankung und der Ausbreitungswege. Die heute gültige Stadieneinteilung des Zervixcarcinoms geht auf die Ausarbeitung des Krebskomitees der Internationalen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe im Jahre 1961 zurück und enthält neben einem Stadium 0, dem Oberflächencarcinom oder Carcinoma in situ, 4 Stadien des invasiven Zervixcarcinoms, wobei die Stadien I und II nochmals in zwei Unterstadien a und b aufgegliedert werden (22).

Die Ausbreitung des Zervixcarcinoms erfolgt

1. invasiv durch direktes Hineinwuchern in das umgebende Gewebe, vor allem seitlich in die Parametrien, aber auch in das Septum vesico-vaginale und das Septum recto-vaginale,
2. lymphogen durch Absiedlung in den regionären Lymphknoten, vor allem in den Lnn. iliaci communes, Lnn. iliaci externi und Lnn. interiliaci,
3. hämatogen nach Einbruch in eine Vene. Die hämatogene Aussaat mit Fernmetastasen in anderen Organen, vor allem in Lunge, Leber und Knochen, tritt erst spät auf (22).

Zur Anwendung in der Behandlung des Zervixcarcinoms kommen heute folgende Methoden:

1. Die Radikaloperation.
2. Die alleinige oder primäre Strahlenbehandlung.
3. Die Kombination von Radikaloperation und Strahlentherapie.
4. Die zytostatische Behandlung.

Während die Radikaloperation fast ausschließlich bei den Stadien I und II des invasiven Zervixcarcinoms

eingesetzt wird, sind die Stadien III und IV der alleinigen Strahlenbehandlung vorbehalten. Nach Einführung der Bewegungs- und Hochvoltbestrahlung sind die Heilungsergebnisse der Radikaloperation und der Strahlentherapie in den Stadien I und II als gleichwertig zu betrachten (22).
Zur Klärung der Frage, ob an eine Radikaloperation in den Stadien I und II eine Strahlenbehandlung angeschlossen werden soll, fand KIRCHHOFF (12) in seinem untersuchten Krankengut eine deutliche Besserung der Heilungsergebnisse, während PHILIPP und RUMPHORST (21) sowie HELBIG (1o) keine solche Heilungsverbesserung beobachteten.
Der zytostatischen Behandlung wird nur eine untergeordnete, vor allem keine kurative Stellung in der Therapie des Zervixcarcinoms zuerkannt (22).

Am Anfang der Strahlenbehandlung des Zervixcarcinoms standen die auf dem Gynäkologenkongreß in Halle 1913 von E. BUMM, A. DOEDERLEIN und B. KÖNIG vorgetragenen Erfahrungen mit der Radiumbehandlung mittels des radioaktiven Elementes Radium, das 1898 von MARIE und PIERRE CURIE entdeckt wurde (18).

In der Folgezeit trat die percutane Röntgenbestrahlung unter Anwendung der von W.C. RÖNTGEN 1895 entdeckten X-Strahlen, heute Röntgenstrahlen genannt, zur Erfassung der Parametrien und der Lymphabflußwege hinzu.

Ein Fortschritt in der Strahlenbehandlung des Zervixcarcinoms wurde mit der Kombination der Radiumbehandlung, die als lokale Bestrahlungsmethode des Primärtumors weiterhin eine bessere Anpassung an den Tumor bot als die percutane Bestrahlung, und der Röntgenbewegungsbestrahlung gefunden. Schon 1913 beschrieb H. MEYER auf dem Gynäkologenkongreß in Kiel eine zusätzliche percutane Bestrahlung mit bewegter Röntgenröhre zur lokalen Radiumbehandlung. Aber erst 3o Jahre später fanden diese für die Hautschonung und Einschränkung der Raumdosis wichtigen Erkenntnisse Aufnahme in der Strahlentherapie (18). WACHSMANN und KELLER (33), DIBBELT (5), TRAUTMANN und MAURER (32), SCHUMACHER und BAERWOLFF (3o), SPECHTER (31) sowie BREIT und KELLER (2) wiesen auf eine bessere Dosisverteilung mit der Bewegungsbestrahlung zur Erfassung der Parametrien und der

Lymphabflußgebiete bei gleichzeitiger Behandlung des Lokaltumors mit Radiumeinlagen hin.

Einen wesentlichen Fortschritt in der Strahlentherapie des Zervixcarcinoms brachte die Anwendung ultraharter Strahlen mit einer Energie über 1 MeV, vor allem der Gammastrahlen des Kobalt 60. Die ultraharten Strahlen erwiesen sich nach BECKER und SCHUBERT (1) bezüglich der Verträglichkeit und der Dosisverteilung den konventionellen Röntgenstrahlen überlegen und erlauben die Verwendung hoher Herddosen ohne unangenehmere Begleitreaktionen. Diese vorteilhaften Eigenschaften ultraharter Strahlen führten zur Ausarbeitung und Anwendung von Bestrahlungsmethoden, die es erlauben, ohne Verwendung von Radium sowohl den Primärtumor als auch die Parametrien und die Lymphabflußwege allein mit der percutanen Bestrahlung ausreichend zu erfassen. Dadurch wurde es erstmals möglich, auf die für den applizierenden Arzt und seine Mitarbeiter mit erheblicher Strahlenbelastung verbundenen Radiumeinlage zu verzichten. Entsprechende Bestrahlungsmethoden wurden in der Folgezeit von

verschiedenen Autoren entwickelt und veröffentlicht, u.a. von LEENHARDT und POURQUIER (17), BURAGGI, ROMANINI und RONCORNI (3), ZANETTI und TOSCA (37), KUTTIG und BECKER (14), WILLIAMS und KAZEM (36), BUTTENBERG (4), KOECK, JACOBSON und HILLSINGER (13), FRISCHKORN (9) sowie FRISCHBIER und KUTTIG (7). WICHMANN und HEINZEL (34) wiesen darüberhinaus auf eine wesentlich günstigere Dosisverteilung bei Anwendung der Pendelbestrahlung als unter Stehfeldbedingungen hin.

Eine Verbesserung der alleinigen, percutanen Telekobaltbestrahlung des Zervixcarcinoms konnte 1960 MELLOR (2o) mit der Einführung der biaxialen Telekobalt-Pendelbestrahlung erreichen. Er beschrieb eine biaxiale Bewegungsbestrahlung über zwei Pendelachsen im Abstand von 6 cm und in einem Winkel von 16o° beidseits. Der Primärtumor in Beckenmitte lag dabei durch Summation der über beide Pendelwinkel eingestrahlten Dosen innerhalb der 1oo %-Isodose, während die Blase und das Rektum mit 85 bis 9o % und die Beckenwand mit 8o % der Maximaldosis belastet wurden. Nach MATSCHKE und WELKER (19) kann die biaxiale Telekobalt-Pendelbestrahlung durch Änderung

des Pendelabstandes, der Feldgröße und des Pendelwinkels in ihrem Isodosenverlauf beeinflußt und so den individuellen Verhältnissen angepaßt werden. SCHIRRMEISTER und RICHTER (26) entwickelten und veröffentlichten zu dieser Bestrahlungsmethode eine Berechnungsmethode mit dem digitalen Rechenautomaten, do daß die Isodosen den individuellen Gegebenheiten der Bestrahlungspatienten angepaßt werden konnten. In der Folgezeit wurde die biaxiale Telekobalt-Pendelbestrahlung von FRISCHBIER und KUTTIG (7) sowie von FRISCHBIER und HASSEL (8) aufgegriffen und überarbeitet.

Mit der Einführung der Elektronenschleuder, in der anglo-amerikanischen Literatur als "Betatron" bekannt, in die Strahlenbehandlung bösartiger Geschwülste eröffneten sich auch neue Wege in der Behandlung des Zervixcarcinoms (16). Die durch Abbremsung der schnellen Elektronen erzeugten ultraharten Röntgenstrahlen oder Photonen stellten wegen ihres "Aufbaueffektes", der das Dosismaximum von der Oberfläche in tiefere Gewebsschichten rückt, neben den Gammastrahlen des Kobalt 60 vor

allem eine Bereicherung in der Tiefentherapie mittels der Stehfeldmethode dar (11). Sie können darüberhinaus auch in Form der Bewegungsbestrahlung eingesetzt werden. An Hand von Untersuchungen mit dem 42-MeV-Siemens-Betatron der Radiologischen Universitätsklinik Homburg/Saar, das die Erzeugung von Photonen der Energien 25 und 42 MeV erlaubt, und dem Plexiglas-Wasser-Phantom der Vereinigten Technischen Werkstätten Freiburg im Breisgau, Dr. Pychlau KG, beschreibt WILHELM (35) eine biaxiale Pendelbestrahlung mit Photonen, die eine weitere Möglichkeit in der Bestrahlung der Parametrien bei Zervixcarcinomen aufzeigt.

Die schnellen Elektronen des Betatrons eignen sich nach FEHRENTZ, KUTTIG, HYMMEN und FORNUSEK (6) vorzüglich im Rahmen der Stehfeldbestrahlung zur Oberflächen- und Halbtiefentherapie, haben sich jedoch bei Anwendung in der Tiefentherapie unter Stehfeldbedingungen gegenüber Photonenstrahlen geeigneter Energie oder Gammastrahlen des Kobalt 60 wegen des mit zunehmender Energie flacher werdenden Dosisabfalles in der Tiefe und gleichzeitig wachsenden Seitenstreuung der Elektronen nach den

oben genannten Autoren sowie nach ZATZ, von ESSEN und KAPLAN (38) weniger bewährt. Immer größere Bedeutung hingegen gewinnen die Bewegungsbestrahlungsmethoden mit schnellen Elektronen in der Tiefentherapie bösartiger Tumoren.

FEHRENTZ, KUTTIG, HYMMEN und FORNUSEK (6) verweisen auf Grund ihrer Untersuchungen auf die Vorzüge der Elektronen-Pendelbestrahlung gegenüber der Elektronen-Stehfeldbestrahlung hinsichtlich der Verbesserung der Dosisverteilung, die eine Strahlenentlastung der Oberfläche und der zwischen ihr und dem Tumor liegenden Gewebe erlaubt und die dem Einfluß von Geweben unterschiedlicher Dichte weniger unterworfen ist, und gegenüber der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen hinsichtlich einer Schonung des Gewebes hinter dem Herd. Sie empfehlen die Elektronen-Pendelbestrahlung bei Geschwülsten im Thorax-, Abdominal- und Beckenbereich, vor allem bei Tumoren des Oesophagus, der Lunge und der Harnblase. Zu gleichen Ergebnissen kommen HEUSS und HOEFFKEN (11), die eine praktische Anwendung der Elektronen-Pendelbestrahlung bei Bronchial- und Rektumcarcinomen sowie zur Strahlen-

therapie des Nierenlagers nach Nephrektomie wegen eines Hypernephroms angeben. RASSOW und Mitarbeiter (23,24,25) stellten ausgedehnte Untersuchungen mit schnellen Elektronen unter Bewegunsbestrahlungsbedingungen an, beschrieben deren Vorzüge, besonders bezüglich der Steuerbarkeit der Dosisverteilung durch Änderung der Pendelachslage, des Pendelwinkels und der Feldbreite, und ermittelten ein Dosisintegrationsverfahren zur Berechnung von Dosisverteilungen.
SCHMIDT-HERMES (27) beschreibt eine postoperative Elektronen-Pendelbestrahlung mit zwei Elektronenenergien beim Mamma-Carcinom, zusammen mit SOMMER und SCHNAUDIGEL (28) eine telezentrische Elektronen-Pendelbestrahlung des Harnblasencarcinoms und zusammen mit LEETZ und SCHLEGEL (29) eine Elektronen-Pendelbestrahlung des Nierenlagers und der entsprechenden Lymphabflußgebiete bei malignen Nierentumoren.

Die erfolgversprechende Anwendung der Elektronen-Pendelbestrahlung in der Tiefentherapie maligner Tumoren nach den oben angeführten Autoren wirft

im Zusammenhang mit der Strahlenbehandlung des Zervixcarcinoms die Frage auf, ob auch die Elektronen-Bewegungsbestrahlung eine Ergänzung in der Therapie des Zervixcarcinoms neben der biaxialen Telekobalt-Pendelbestrahlung bringen kann. Eine Elektronen-Pendelbestrahlung in Form einer biaxialen, exzentrischen und telezentrischen (d.h. außerhalb der Reichweite der Elektronen befindlichen Lage der Pendelachse) Bewegungsbestrahlung ist in der Literatur noch nicht veröffentlicht worden. Daher interessieren in diesem Zusammenhang der unter den oben erwähnten Versuchsbedingungen erzielte Isodosen-Verlauf und die Möglichkeit einer praktischen Anwendung.

Eigene Messungen

Nach orientierenden Vorversuchen wurden an dem körperäquivalenten Alderson-Phantom, das auch den Einfluß der Inhomogenität im Körper berücksichtigt, mit Membrankammern der Physikalisch-Technischen Werkstätten, Dr. Pychlau KG., Freiburg/Breisgau, von 6 mm Durchmesser 9 Kurvenverläufe ausdosimetriert. Die einzelnen Phantomschichten enthalten zur

Aufnahme der Meßkammern Bohrungen, die rasterförmig im Abstand von 3 cm über den Querschnitt verteilt angeordnet sind.

Unverändert blieben in allen Versuchen der Pendelradius von 120,0 cm, die Pendelachslage in 10,5 cm Tiefe innerhalb des Phantoms und 17,5 cm exzentrisch von der Mittellinie auf der Gegenseite und die Achsenfeldgröße mit 4,3 x 23,4 cm. Eine Elektronenaufstreuung mittels Folie erfolgte nicht. Der Zentralstrahl der optischen Anzeige war bei allen Einstellungen immer auf die Mitte der Schicht Nr. 3o des Alderson-Phantoms ausgerichtet. Auf jeder Seite erfolgten jeweils 1o Pendelbewegungen. Verändert wurden der Pendelwinkel und die Elektronenenergie. Bei der ersten Messung betrug der Pendelwinkel 25° (von 9o bis 65°) und bei den übrigen 8 Messungen 2o° (von 9o bis 7o°). Die ersten 3 Messungen wurden mit einer einheitlichen Elektronenenergie von 42 MeV durchgeführt. Bei den nachfolgenden 6 Versuchen wurde mit zwei Elektronenenergien gependelt und zwar erfolgten auf jeder Phantomseite je 5 Bewegungen mit einer Energiestufe, nämlich

mit 42 und 2o MeV, 42 und 15 MeV sowie 42 und 9 MeV, so daß insgesamt pro Seite wieder 1o Bewegungen resultierten.

Unter Berücksichtigung der Lufttemperatur, des Luftdruckes, der Luftfeuchtigkeit und des Kammerfaktors der einzelnen Membrankammern wurde aus der gemessenen Kammerentladung der Dosiswert in R errechnet.

Beschreibung der Versuchsanordnungen

Vor jeder Messung wurden die Membrankammern aufgeladen und in die Schicht Nr. 3o des Alderson-Phantoms entsprechend den vorhandenen Bohrungen eingefügt. Das Meßvolumen der Kammern war stets nach cranial gerichtet. Unter Verwendung einer Wasserwaage wurde das zusammengesetzte Phantom in eine exakt horizontale Lage gebracht. Das mit 4,3 x 23,4 cm festliegende Achsenfeld wurde sagittal auf die Mitte der Schicht Nr. 3o des Phantoms ausgerichtet. Durch Anheben des Bestrahlungstisches wurde unter Benutzung der optischen Entfernungsanzeige die Achse in 1o,5 cm Tiefe gesenkt, so daß stets ein FHA von

109,5 cm bei einem Pendelradius von 120,0 cm eingestellt wurde. Danach wurde die Pendelachse um 17,5 cm nach lateral auf die Gegenseite der zu überpendelnden Phantomseite verschoben und der Pendelwinkel von 25 bzw. 2o° (von 9o bis 65° bzw. von 9o bis 70°) eingestellt.
Nach Überpendelung einer Seite mit 1o Pendelbewegungen wurde unter Berücksichtigung der gleichen Einstellungsdaten die kontralaterale Seite des Alderson-Phantoms bestrahlt.

Außer dem Pendelwinkel, der nach der ersten Messung von 25° auf 20° verkleinert wurde, wurde die Elektronenenergie nach der 3. Messung mit 42 MeV so geändert, daß jede Phantomseite mit 42 MeV pro 5 Pendelbewegungen und einer niederen Energiestufe 2o, 15 und 9 MeV, pro 5 Pendelbewegungen bestrahlt wurden. Die übrigen Einstellungsdaten blieben in allen Messungen konstant.

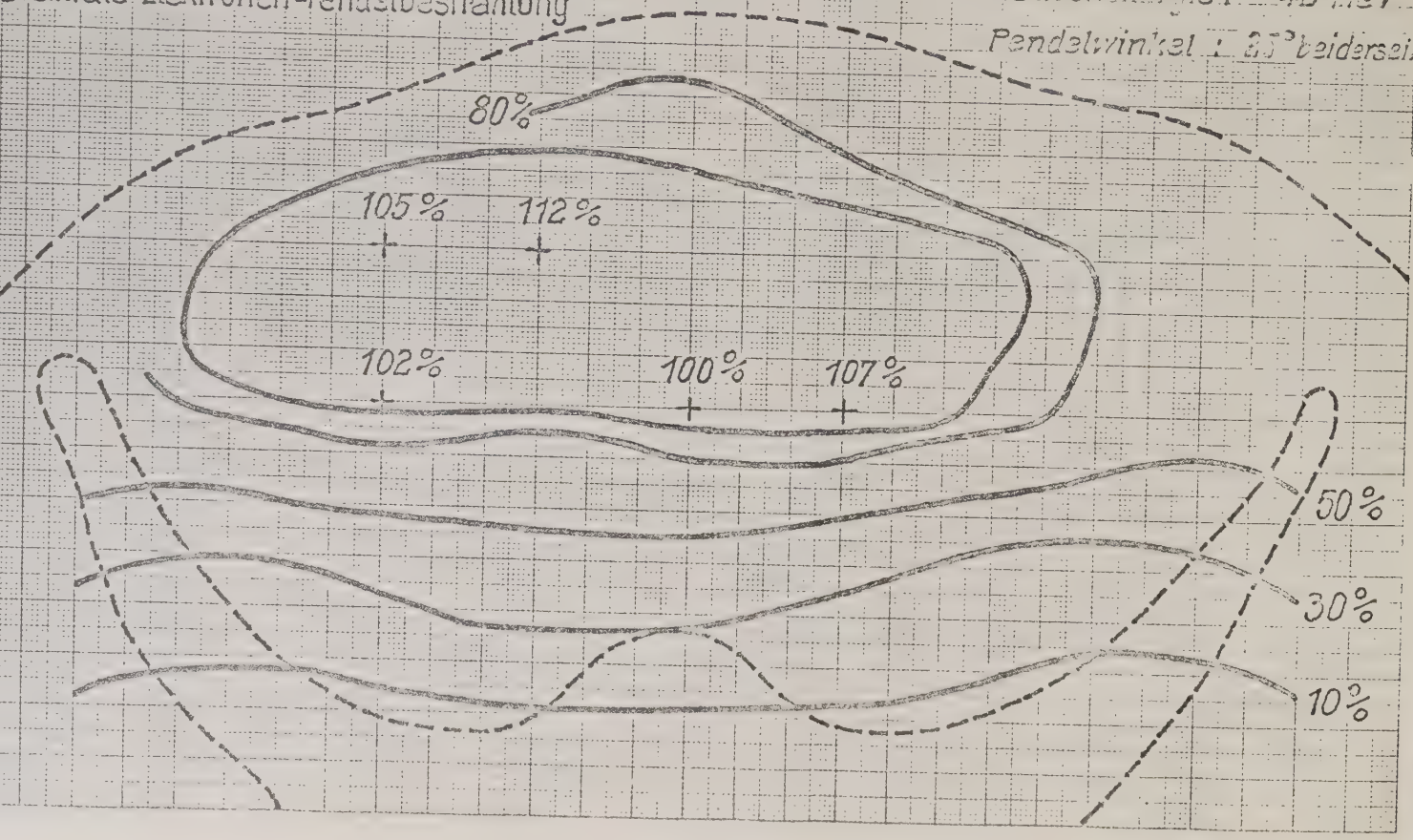
Die Monitorsprungzahl betrug in allen Messungen zwisc
295 und 402 Sprüngen pro 10 Pendelbewegungen auf jeder Phantomseite und wird bei den einzelnen Kurvenbeschreibungen angegeben.

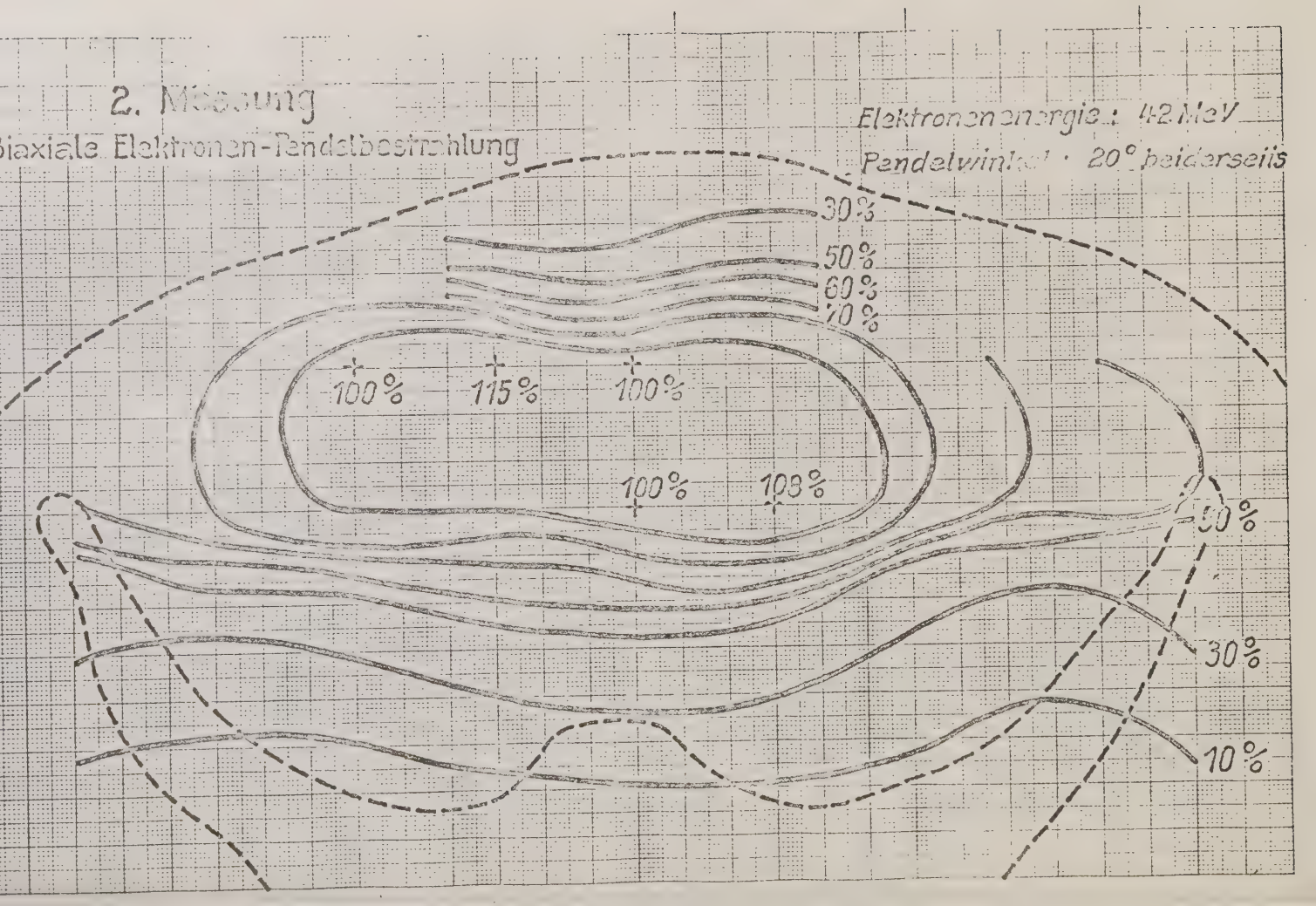
1. Messung

Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung

Elektronenenergie: 42 MeV

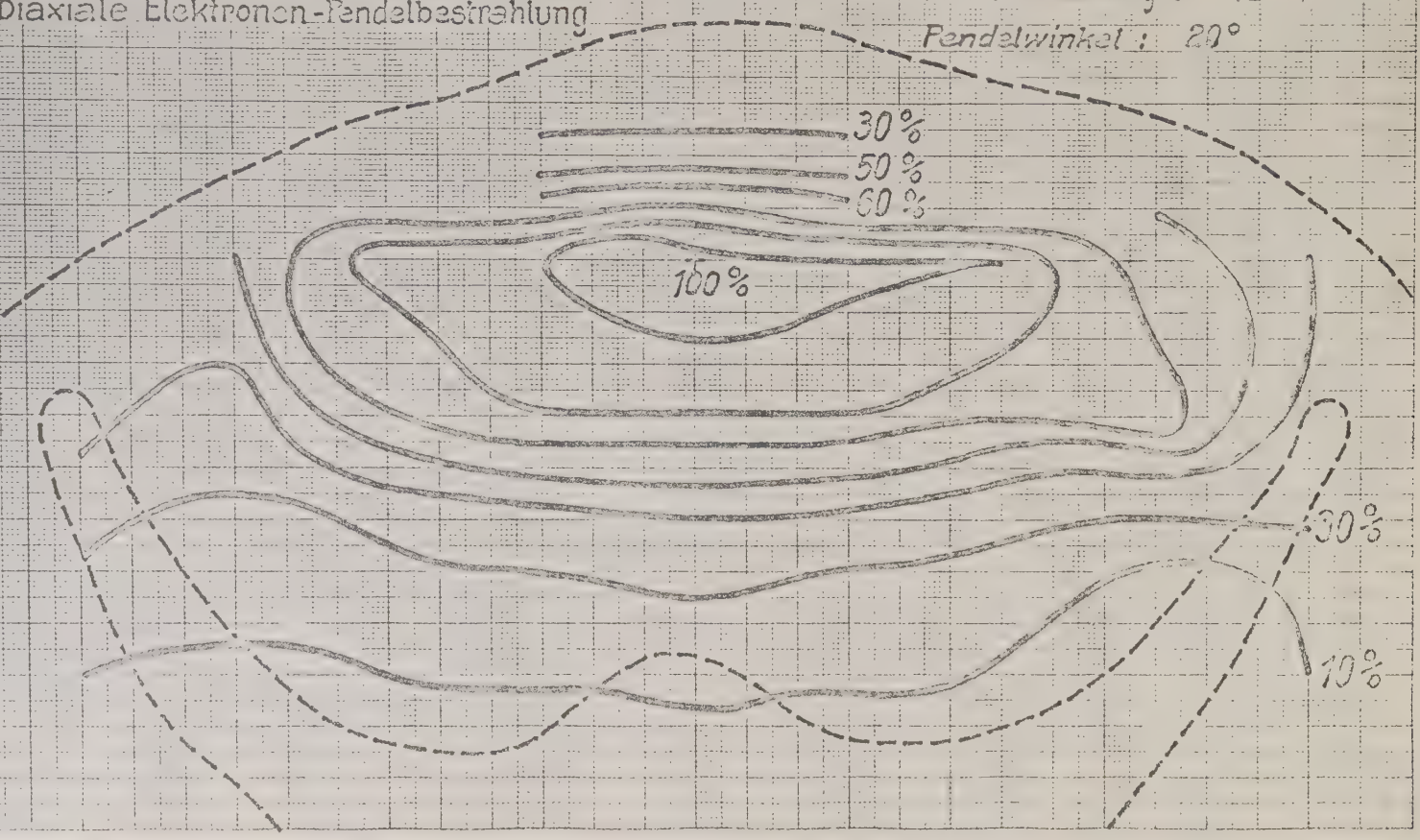
Pendelwinkel: 35° beiderseits

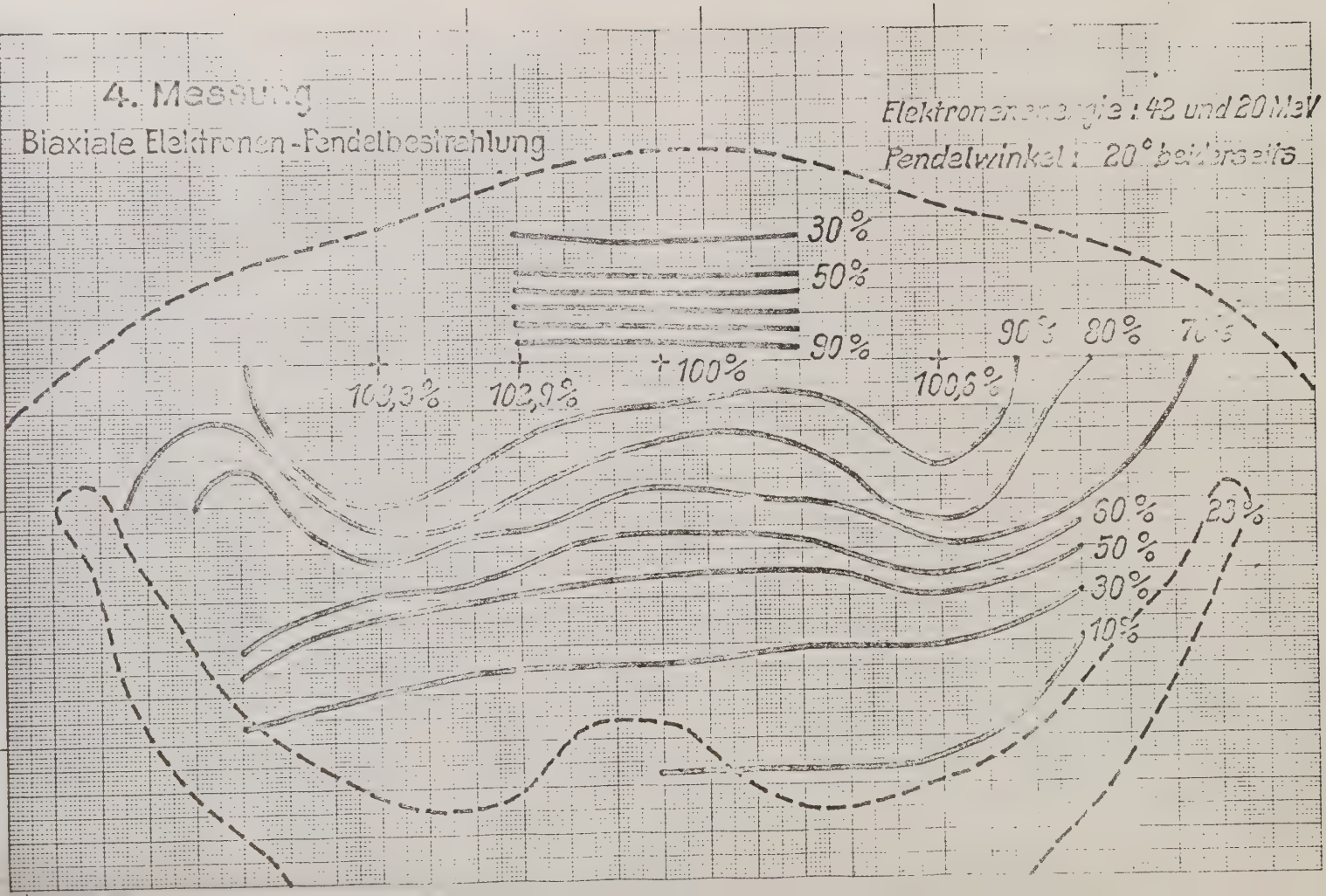


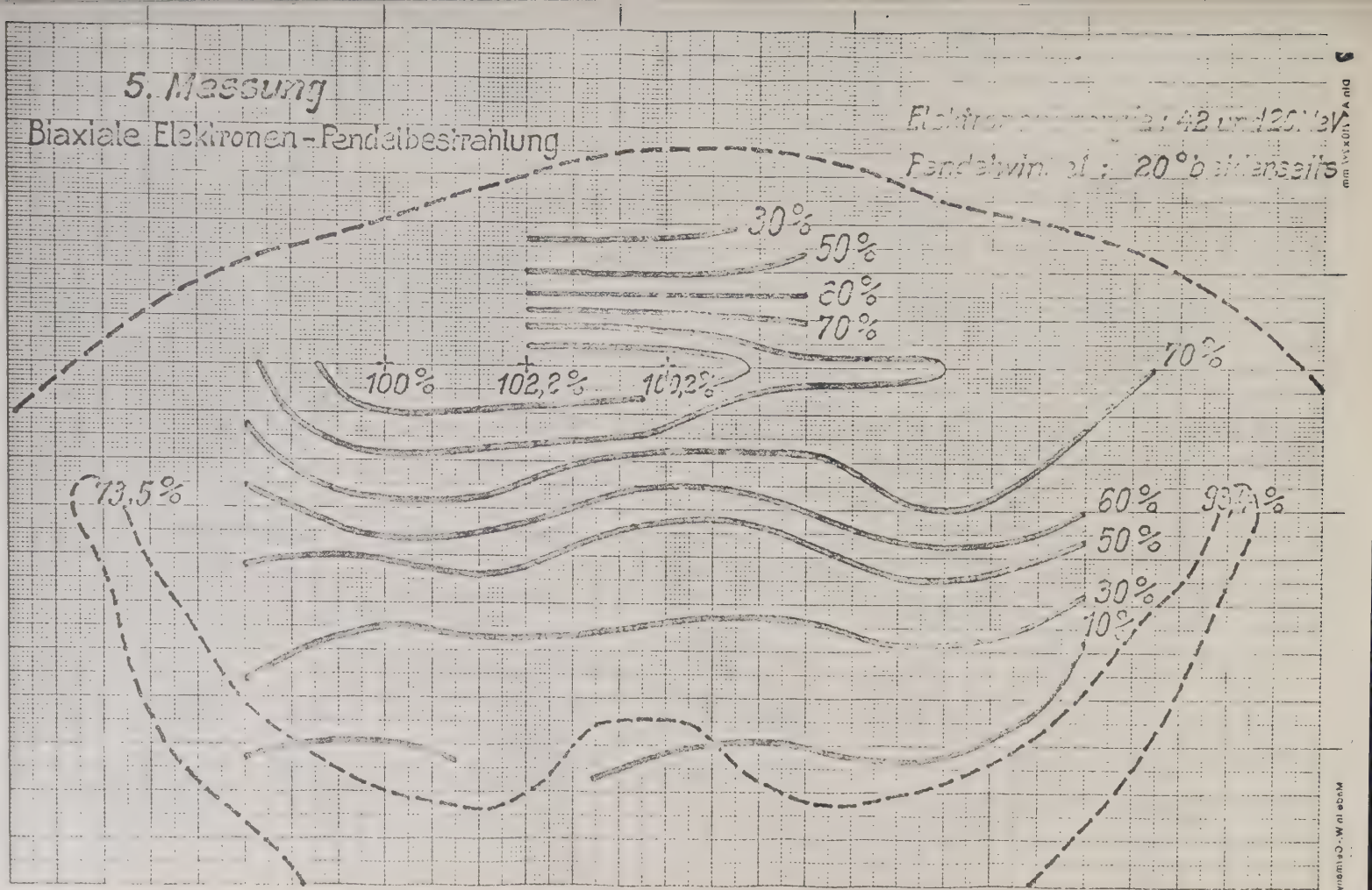

2. Messung
biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung
Elektronenenergie: 42 MeV
Pendelwinkel: 20° beiderseits
30%
50%
60%
70%
100%
115%
100%
100%
103%
50%
30%
10%

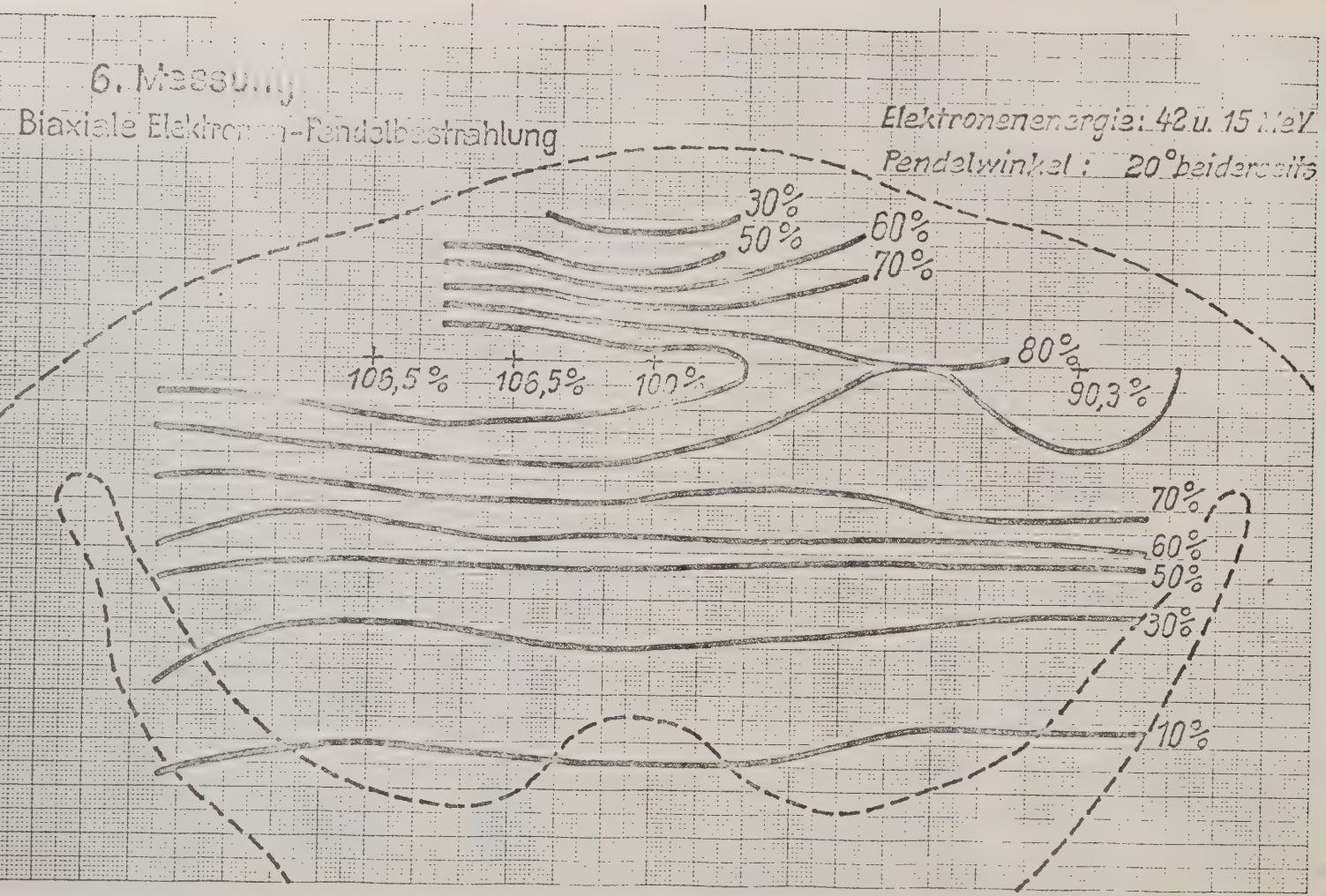
3. Messung

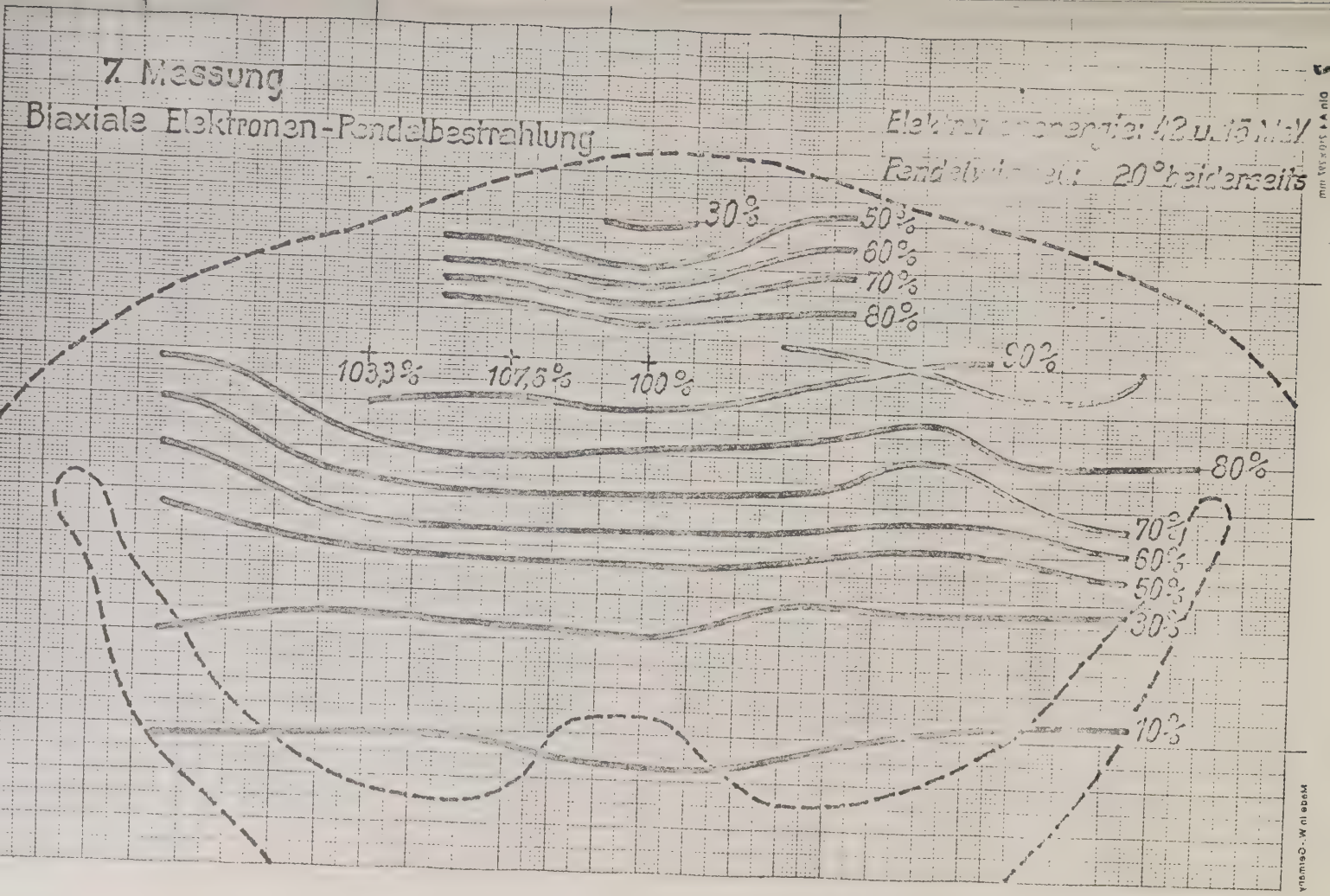
Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung




4. Messung
Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung
Elektronenenergie: 42 und 20 MeV
Pendelwinkel: 20° beiderseits
30 %
50 %
90 %
90 %
80 %
70 %
103,3 %
102,9 %
100 %
100,3 %
60 %
50 %
30 %
10 %
20 %


5. Messung
Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung
30 %
50 %
60 %
70 %
100 %
102,2 %
100,2 %
70 %
13,5 %
60 %
50 %
30 %
10 %


6. Messung
Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung
Elektronenenergie: 42 u. 15 MeV
Pendelwinkel: 20° beiderseits
30%
50%
60%
70%
80%
90,3%
106,5%
106,5%
100%
70%
60%
50%
30%
10%

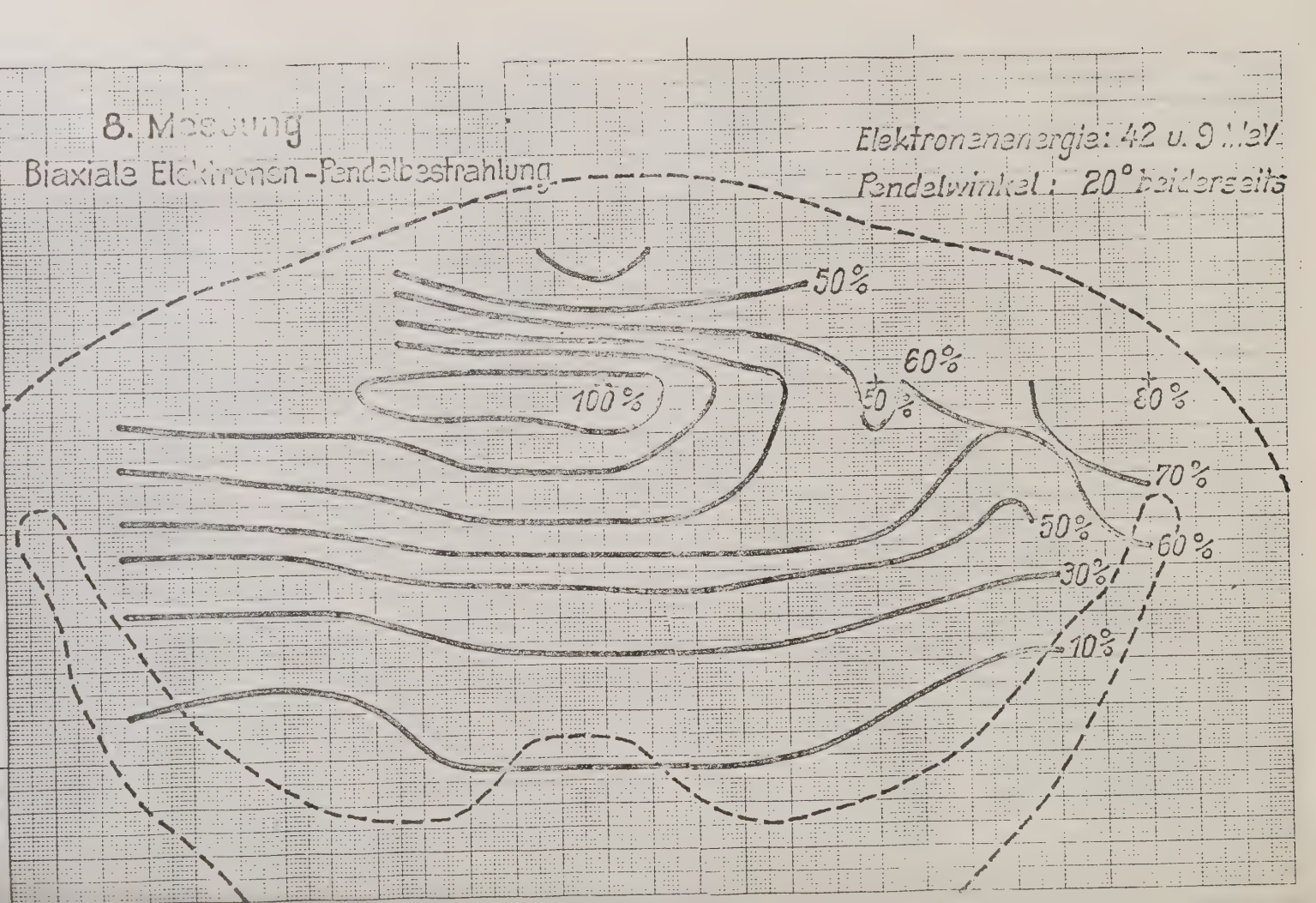

7. Messung
Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung
30%
50%
60%
70%
80%
103,3%
107,5%
100%
90%
80%
70%
60%
50%
30%
10%

8. Messung

Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung

Elektronenenergie: 42 u. 9 MeV

Pendelwinkel: 20° beiderseits

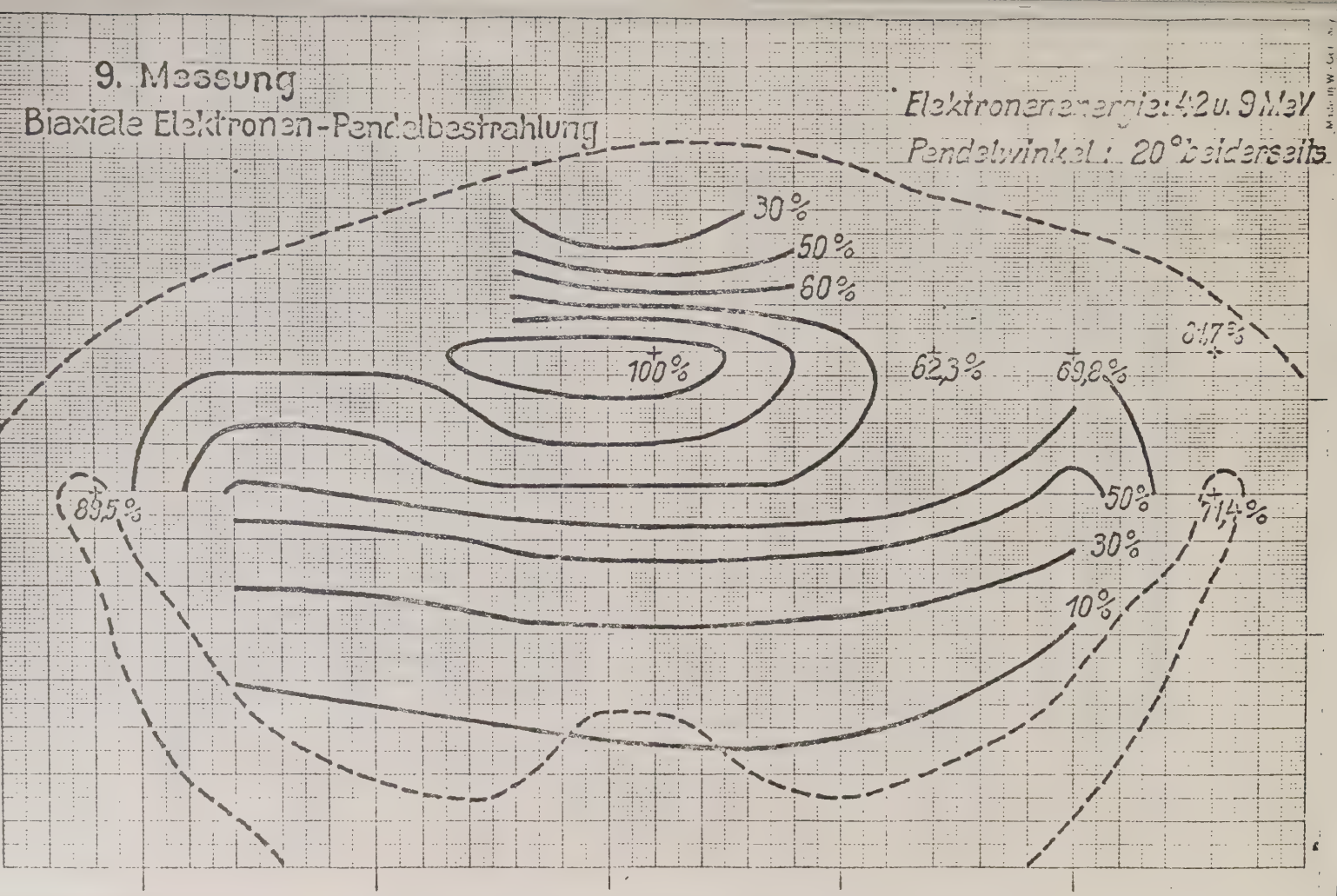


9. Messung

Biaxiale Elektronen-Pendelbestrahlung

Elektronenenergie: 4,2 u. 9 MeV

Pendelwinkel: ± 20° beiderseits



Beschreibung der Kurvenverläufe

Bei der 1. Messung (Elektronenenergie von 42 MeV, Pendelwinkel 25° beiderseits, Monitorsprungzahl 402 beiderseits) umgreifen die 90 und 80 % Isodosen die Cervix uteri und lateral ellipsenförmig beide Parametrien. Die 80 % Isodose reicht jedoch weit nach ventral, so daß eine hohe Strahlenbelastung der Harnblase erfolgen würde. Das Rektum liegt zwischen den nach lateral offenen 50 und 30 % Isodosen. Zur Strahlenentlastung der ventralen Abdominalregion wurde in den nachfolgenden Messungen der Pendelwinkel beiderseits auf 20° (von 90 bis 70°) verkleinert.

Die 90 und 80 % Isodosen der 2. Messung (Elektronenenergie 42 MeV, Pendelwinkel 20°, Monitorsprungzahl rechts 302 und links 300) sind geschlossen und umfassen hantelförmig die Cervix uteri und beide Parametrien. Die mediane Ausdehnung beträgt für die 90 % Isodose 3,7 cm und für die 80 % Isodose 4,5 cm. In 6,5 cm Tiefe dehnt sich die 90 % Isodose nach rechts 5,2 cm und nach links 7,5 cm aus, die 80 % Isodose nach rechts 6,4 cm und nach links 9,4 cm. Nach ventral kommt es zu einem raschen Dosis-

abfall. Die 30 % Isodose verläuft in 1,8 cm Tiefe in der Medianebene. Das Rektum liegt dorsal der 50 % Isodose.

Die 3. Meßreihe, die unter gleichen Bedingungen wie die Messung 2 durchgeführt wurde und als Kontrolle gedacht war, zeigt eine geringe Formabweichung der achsennahen Isodosen gegenüber denen aus Messung 2. Die Erklärung hierfür lag in einem nicht regulierbaren Dosisverlust bei Pendelung nach links, verursacht durch schadhafte Einlenker.

Keine der Isodosen aus der 4. und 5.Messung (Elektronenenergien von 42 MeV und 20 MeV,Pendelwinkel 20°, Monitorsprungzahl rechts 323 und links 306 bei der 4.Messung, Monitorsprungzahl rechts 309 und links 291 bei der 5. Messung) ist mehr geschlossen in ihrem Verlauf. Die Isodosen ziehen bandförmig von medial nach beiden Seiten, wobei auch die 90, 80 und 70 % Isodosen weit nach lateral an die Beckenwand heranreichen. Die ventralen Isodosenanteile liegen parallel zueinander und verlaufen nahezu geradlinig. Die dorsalen Isodosenanteile dagegen weisen in ihrem lateralen Verlauf beiderseits eine dorsal konvexe Aufweitung auf. Die mediane Ausdehnung beträgt für die 90 % Isodose 1,2 cm (1,0 cm)*

---

* Die nicht eingeklammerten Werte gelten für die 4.Messung.

für die 80 % Isodose 2,4 cm (2,0 cm) und für die 70 % Isodose 3,8 cm (3,0 cm). Der Portiobereich wird also erst von der 70 % Isodose einigermaßen ausreichend erfaßt. Der ventrale Dosisabfall erfolgt rasch. Die 30 % Isodose liegt in der Medianebene 1,8 cm tief. Das Rektum ist hinter der 50 % Isodose gelegen und wird von der 30 % Isodose durchzogen.

Die Isodosen der 6. und 7.Messung (Elektronenenergien 42 MeV und 15 MeV, Pendelwinkel 20°, Monitorsprungzahl rechts 305 und links 295 bei der 6.Messung, Monitorsprungzahl rechts 302 und links 295 bei der 7.Messung) sind in ihrem Verlauf ebenfalls nicht geschlossen. Die 90 % und 80 % Isodosen reichen noch weiter an die laterale Beckenwand heran als in den Messungen 4 und 5.
Die ventralen Isodosenanteile zeigen in ihrem lateralen Verlauf eine ventral konvexe Aufweitung beiderseits, während die dorsalen Isodosenanteile fast parallel und geradlinig verlaufen. Die mediane Ausdehnung der 90 % Isodose beträgt 1,4 cm (1,4 cm)*, die der 80 % Isodose 2,7 cm (2,7 cm) und die der 70 % Isodose 3,9 cm (3,9 cm). Der ventrale Dosisabfall entspricht den beiden vorausgegangenen Messungen 4 und 5. Die 50 % Isodose ist vor dem Rektum gelegen, während die 30 % Isodose durch das Rektum zieht.

---

* Der Wert in Klammern gilt für die 7.Messung.

Die 90 % Isodose der 8. und 9. Messung ( Elektronenenergien 42 MeV und 9 MeV, Pendelwinkel 20°, Monitorsprungzahl rechts 298 und links 296 bei der 8. Messung, Monitorsprungzahl rechts 308 und links 298 bei der 9. Messung ) ist geschlossen und zeigt einen elliptoiden Verlauf. Sie erfaßt mit einer medianen Ausdehnung von 1,3 cm ( 1,3 cm) * und einer lateralen Reichweite rechts von 1,3 cm (1,5 cm) sowie links von 5,3 cm ( 4,5 cm) nur teilweise den zentralen Zervixbereich. Die ventralen Anteile der 30 % und 50 % Isodosen weiten sich nach lateral hin ventral auf, während die übrigen Isodosen sich im lateralen Verlauf einander annähern. Die 80 % und 70 % Isodosen reichen näher an die seitliche Beckenwand als in den Messungen 6 und 7. In der Medianebene erfaßt die 80 % Isodose einen Bereich von 3,6 cm (3,6 cm), die 70 % Isodose einen Bereich von 3,9 cm (3,9 cm). Beide Isodosen schließen in diesem Bereich ausreichend die Cervix uteri ein. Der ventrale Dosisabfall erfolgt noch stärker als bei allen vorausgegangenen Messungen.

---

* Der Wert in Klammern gilt für die 9. Messung.

Die 30 % Isodose verläuft in der Medianebene 2,1 cm dorsal der Oberfläche. Der ventrale Rectumanteil wird von der 30 % Isodose geschnitten.

Diskussion der Meßergebnisse

Die durchgeführten Messungen lassen erkennen, daß auch mit einer biaxialen Elektronen-Pendelbestrahlung die Strahlenbehandlung des zentralen Zervix- bzw. Corpusbereiches und der Parametrien beiderseits unter weitgehender Schonung der Blase und des Rektums möglich ist.

Voraussetzung für einen ausreichend großen ventralen und dorsalen Dosisabfall zur Entlastung von Blase und Rektum ist ein Pendelwinkel, der beiderseits nicht mehr als $20^{\circ}$ beträgt. Ein größerer Pendelwinkel läßt die Isodosen nach dorsal und ventral auswandern, so daß die Blasen- und Rektumbelastungen zunehmen, wie die 1. Messung im Vergleich zu den folgenden Messungen zeigt.

Bei monoenergetischer Elektronen-Pendelbestrahlung wird zwar das Zentrum mit der Cervix uteri ausreichend erfaßt, wie die 2. und 3. Messungen ergeben, nicht ausreichend jedoch die Parametrien beiderseits in ihrer lateralen Ausdehnung.

Diese monoenergetische Bestrahlungsart käme nur dann in Betracht, wenn lediglich das Zervix- oder Corpusbett des Uterus bzw. die Scheidenmanschette bestrahlt werden sollte.

Durch kombinierte Elektronen-Pendelbestrahlung mit einer hohen kinetischen Energie (42 MeV) und einer niederen kinetischen Energie (20, 15 und 9 MeV) erzielt man ein Auswandern der Isodosen nach der lateralen Beckenwand hin, ohne daß sich gegenüber der monoenergetischen Pendelbestrahlung eine wesentliche Änderung in dem ventralen und dorsalen Dosisabfall ergibt. Die Isodesen werden um so mehr nach der lateralen Beckenwand ausgezogen, je niedriger die zweite kinetische Energie gewählt wird. Hierdurch kann eine ausreichende Belastung der Cervix uteri sowie der Parametrien beiderseits erreicht werden.

In allen Messungen fällt auf, daß die 100 % Isodose etwas weit ventral gelegen ist im Vergleich zur anatomischen Lage der Cervix uteri. Durch Tieferverlagerung der Pendelachse in 12,0 bis 15,0 cm Tiefe, was Gegenstand weiterer Untersuchungen

sein wird, könnte das Dosismaximum weiter nach der Beckenmitte verlagert werden.

Die in allen Isodosen-Kurven auftretenden Asymmetrien haben ihre Ursache in einer Asymmetrie des verwendeten Alderson-Phantoms sowie in der geringeren Dosisleistung bei bestimmten Stellungen während der Linksrotation des Betatrons zur Zeit der Meßversuche, die in der Zwischenzeit beseitigt wurde.

Insgesamt zeigen die gewonnenen Meßergebnisse einen weiteren Weg in der percutanen Strahlenbehandlung des Zervixcarcinoms mit und ohne Bestrahlung der Parametrien unter Verwendung einer biaxialen Elektronen-Pendelbestrahlung auf.

Vor einer Anwendung in der Praxis sollten jedoch orientierende Messungen mit einer tiefer gelegenen Pendelachse sowie wegen des groben Rasters des Alderson-Phantoms zusätzliche und kontinuierlichere Dosismessungen mit dem Wasser-Phantom der Physikalisch-Technischen Werkstätten, Dr.Pychlau KG, Freiburg/Breisgau, erfolgen.

Zusammenfassung:

Mit dem körperäquivaltenten Alderson-Phantom wurden unter Verwendung von Membrankammern der Physikalisch-Technischen Werkstätten, Dr. Pychlau KG, Freiburg/Breisgau, systematische Untersuchungen bei biaxialer Bewegungsbestrahlung mit schnellen Elektronen, bei monoenergetischer und bienergetischer Anwendung durchgeführt.

Der Pendelradius betrug jeweils 120,0 cm und die Achsenfeldgröße 4,3 x 23,4 cm. Die Pendelachse lag 10,5 cm tief und 17,5 cm auf der Gegenseite. Die Elektronenenergie betrug bei den monoenergetischen Messungen 42 MeV sowie alternierend zusätzlich 20, 15 und 9 MeV bei den bienergetischen Messungen. Auf jeder Seite erfolgten 10 Pendelbewegungen, bei bienergetischen Messungen 5 Pendelbewegungen mit einer Energie auf jeder Seite. Bei der 1. Messung betrug der Pendelwinkel 25°, bei den übrigen Messungen 20°.
Es wurden die Isodosenverläufe aufgezeichnet und diskutiert.

LITERATURVERZEICHNIS


1. BECKER, J. — Die Supervolttherapie. 245-303, Stuttgart 1961, G.Thieme

2. BREIT, A. und KELLER, H.L.: — Die Pendelbestrahlung der Parametrien und ihrer Lymphabflußgebiete. Strahlentherapie 110 (1959): 83-94

3. BURAGGI, G.L., ROMANINI, A. und RONCORONI, L.: — Sul trattamento del carcinoma uterino et delle diffusioni parametrali con la telecobaltoterapia. Tumori 45 (1959): 507-522

4. BUTTENBERG, D.: — Die Telekobaltbestrahlung beim Kollumkarzinom. Geburtshilfe und Frauenheilkunde 22 (1962): 1107- 1111

5. DIBBELT, L.: — Die Bestrahlung gynäkologischer Carcinome mit dem Konvergenzstrahler. Strahlentherapie 95 (1954): 49-58

6. FEHRENTZ, D., KUTTIG, H., HYMMEN, U. und FORNUSEK, A.: — Bewegungsbestrahlung mit schnellen Elektronen zur Tiefentherapie. Strahlentherapie 137 (1969: 509-517

7. FRISCHBIER, H.J. und KUTTIG,H.: — Zur Technik der direkten Feldkontrollaufnahmen mit der Telekobalttherapie. Strahlentherapie 113 (1960): 610-618

8. FRISCHBIER, H.J. und HASSE, G.: — Die biaxiale Telekobalt-Pendelbestrahlung des Collumcarcinoms. Strahlentherapie 126 (1965): 481-494

9. FRISCHKORN, R.: Die ausschließliche Perkutanbestrahlung des Kollumkarzinoms mit Telekobalt. Zentralblatt Gynäkologie 85 (1963): 639-644

10. HELBIG, W.: Zur Bedeutung der postoperativen Nachbestrahlung beim Kollumkarzinom. Zentralblatt Gynäkologie 83 (1961): 513-518

11. HEUSS, K. und HOEFFKEN, W.: Zur Anwendung der Pendelbestrahlung mit schnellen Elektronen in der Tiefentherapie. Strahlentherapie 138 (1969): 40-49

12. KIRCHHOFF, H. und KEPP, R.K.: Klinische Erfahrungen mit der Pendelbestrahlung in der gynäkologischen Strahlentherapie. Dtsch.Med.Wschr. 1956: 1535-1536 und 1543

13. KOECK, G.P., JACOBSEN, L.E. und HILLSINGER, W.W.: Cobalt-60 Teletherapy of the Cervix by a Rotation Technic. Radiology 79 (1962): 190-202

14. KUTTIG, H, und BECKER, J.: Vortrag IX.Int.Kongr.Radiol. München 1959

15. KUTTIG, H. und FRISCHBIER,H.J.: Zur Herddosis und Dosisverteilung bei der Telekobalt-Pendelbestrahlung. Strahlentherapie 112 (1960):251-261

16. KUTTIG, H.: Supervolttherapie in der Gynäkologie. Arch.Gyn. 202 (1965): 309-312

17. LEENHARDT, P. und POURQUIER, H.: La Place de la Télécobalttherapie dans le Traitement du Cancer du Col Utérin. Analyse des possibilités techniques, J.Radiol.Electrol. 38 (1957): 924-932

18. MARTIUS, H.: Über die Entwicklung der Strahlentherapie am Beispiel des Gebärmutterhalscarcinoms. Strahlentherapie 100 (1956): 329-334

19. MATSCHKE, S. und WELKER, K.: Die individuelle Isodosenanpassung bei der biaxialen Pendelbestrahlung gynäkologischer Tumoren. Radiobiol.Radiother.(Berl.) 4 (1963): 401-409

20. MELLOR, H.M.: Carcinoma of the cervix uteri Traitment by supervoltage irradiation only. Brit.J.Radiol. 33 (1960): 20-27

21. PHILIPP, E. und RUMPHORST, K.: Die Kollumkarzinome der Kieler Universitäts-Frauenklinik aus den Jahren 1938 bis 1954 mit kritischen Bemerkungen zu therapeutischen Schäden. Geburtshilfe und Frauenheilkunde 21 (1961) 109-120

22. PSCHYREMPEL, W.: Praktische Gynäkologie: 127-148 Walter De Gruyter und Co., Berlin 1966

23. RASSOW, J.: Beitrag zur Elektronentiefentherapie mittels Pendelbestrahlung. I.Mitteilung: Grundlegende Vorversuche an Stehfeldern mit 42 MeV-Elektronen. Strahlentherapie 138 (1969):267-285

24. RASSOW, J., STÜTZER, H.D., BERNET, J.und KRABB, H.J.: Beitrag zur Elektronentiefentherapie mittels Pendelbestrahlung. II.Mitteilung: Einige charakteristische Merkmale der Dosisverteilung mit Alderson-Phantom. Strahlentherapie 138 (1969):385-39

25. RASSOW, J.: Beitrag zur Elektronentiefentherapie mittels Pendelbestrahlung III.Mitteilung: Grundlagen eines neuartigen Dosisintegrationsverfahrens zur Berechnung von Dosisverteilungen bei Pendelbestrahlung Strahlentherapie 139(1970):117-138

26. SCHIRRMEISTER, D. und RICHTER, J.: Die Berechnung von Dosisverteilungen mit digitalen Rechenautomat bei mehraxialer Pendelbestrahlung. Strahlentherapie 125(1964):211-218

27. SCHMIDT-HERMES,H.J.: Pendelbestrahlung der Thoraxwand nach Ablatio mammae wegen eines Carcinoms mit dem Siemens 42-MeV-Betatron. Strahlentherapie 137(1969):407-421

Zur radiologischen Behandlung des inoperablen Mammacarcinoms. Strahlentherapie 138 (1969):394-39

Methode zur postoperativen Pendelbestrahlung des Mammacarcinoms unter Anwendung verschiedener Elektronenenergien.
Strahlentherapie 139(1970):139-142

28. SCHMIDT-HERMES,H.J., SOMMER, F. und SCHNAUDIGEL,O.E.: Eine Methode zur Elektronenpendelbestrahlung des Harnblasencarcinoms.
Strahlentherapie 139(1970): 389-396

29. SCHMIDT-HERMES,H.J., LEETZ, H.K. und SCHLEGEL, H.: Maligne Nierentumoren und ihre Radiotherapie mit schnellen Elektronen.
Strahlentherapie 141(1971):284-290

30. SCHUMACHER,W. und BAERWOLFF,H.: Neuere Meßergebnisse am Organismus über die Dosis bei der Pendelbestrahlung im kleinen Becken.
Strahlentherapie 99(1956): 63-71

31. SPECHTER, H.J.: Experimentelle Studien über die Bewegungsbestrahlung im kleinen Becken bei gynäkologischen Tumoren.
Strahlentherapie 102(1957): 229-269

32. TRAUTMANN,K. und MAURER, H.J.: Zur Bewegungsbestrahlung gynäkologischer Tumoren unter Berücksichtigung der Pendelbestrahlung.
Strahlentherapie 99 (1956):400-416

33. WACHSMANN,F. und KELLER,L.: Untersuchung über die Dosisverteilung bei der Rotationsbestrahlung gynäkologischer Tumoren. Strahlentherapie 87(1952): 278-289

34. WICHMANN,H. und HEINZEL,F.: Leitfaden der Bewegungsbestrahlung. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959 Springer

35. WILHELM, W.: Systematische Untersuchungen bei biaxialer Bewegungsbestrahlung mit Photonen von 42 MeV mit dem Siemens-Betatron. Inauguraldissertation Homburg/Saar 1971

36. WILLIAMS, I.C. und KAZEM, I.: High voltage X-ray therapy as a primary method of treatment for advanced cancer of the cervix uteri. Brit.J.Radiol. 35 (1962): 18-22

37. ZANETTI,E. und TOSCA, L.: Metodi di telecobaltoterapia nel trattamento del carcinoma del collo dell'utero. Ann.Obstet.Ginec.81(1959):731-739

38. ZATZ,L.M., von ESSEN,C.F. und KAPLAN,H.S.: Radiation Therapy with High-Energy Electrons. Part.II. Clinical Experience, 10 to 40 MeV. Radiology 77(1961): 928-939

39. ZOLLINGER, H.U.: Pathologische Anatomie. Band II: Spezielle Pathologie: 164-165 Stuttgart 1968, G.Thieme

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. med. F. Sommer für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Herrn Oberarzt Dr.med. H.J. Schmidt-Hermes sei im besonderen für seine wertvollen Hinweise bei der Fertigstellung dieser Arbeit gedankt. Er stellte mir nicht nur sein umfangreiches, persönliches Wissen zur Verfügung, sondern er hatte auch immer Zeit für mich, wenn ich seinen Rat und seine Hilfe benötigte.

LEBENSLAUF

Am 1.April 1939 wurde ich als Sohn der Eheleute Heinrich SCHMIDT und Margarete, geb.Schamper, in Dudweiler/Saar geboren.
Nach Besuch der Volksschule in Dudweiler/Saar und des Staatlichen Ludwiggymnasiums in Saarbrücken legte ich im Frühjahr 1963 die Reifeprüfung an der Ulrich von Hutten-Schule in Schlüchtern/Hessen ab.
Das Studium der Medizin begann ich im Sommersemester 1963 an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken.
Im Wintersemester 1964/64 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Sommersemester 1965 die ärztliche Vorprüfung an der Medizinischen Fakultät der Universität in Homburg/Saar, an der ich im Wintersemester 1968/69 das Medizinische Staatsexamen ablegte.
Im Januar 1969 heiratete ich die Studentin der Medizin Elisabeth VOGELGESANG.
Nach Ableistung der Medizinalassistentenzeit an der Chirurgischen Universitätsklinik und der Medizinischen Universitätsklinik in Homburg/Saar bin ich seit dem 1.Februar 1970 als Assistenzarzt an der Radiologischen Universitätsklinik in Homburg/Saar tätig.